©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Beiträge zur allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie.

Fünfte Mittheilung.

Über die Abhängigkeit des Muskelstromes von localen chemischen Veränderungen der Muskelsubstanz.

Von Dr. **Wilhelm Biedermann,**
zweitem Assistenten am physiologischen Institute der Universität zu Prag.

(Aus dem physiologischen Institute zu Prag.)

Du Bois-Reymond hat seinerzeit die Behauptung aufgestellt,[1] dass es für die chemische Angreifbarkeit der Muskelsubstanz durch eine bestimmte Flüssigkeit kaum ein empfindlicheres Prüfungsmittel gebe, als den natürlichen Querschnitt eines parelektronomischen Muskels damit zu benetzen und die Veränderungen zu beobachten, die dadurch in dem elektrischen Zustande des Querschnittes hervorgebracht werden.

Ein derartiges Verhalten machte es möglich, sich des Galvanometers so zu sagen an Stelle eines chemischen Reagens zu bedienen und die durch locale Einwirkung gewisser chemischer Stoffe hervorgebrachten Veränderungen der Muskelsubstanz, die sich, wie ich in meiner letzten Mittheilung[2] gezeigt habe, durch den im einen oder anderen Sinne veränderten Erfolg eines an der betreffenden Stelle einwirkenden (elektrischen) Reizes verrathen, durch Untersuchung der elektromotorischen Wirkung derselben schon zu einer Zeit nachzuweisen, wo noch der Reizerfolg nicht wesentlich verändert erscheint. Die im Folgenden mitzutheilenden Versuche werden zeigen, inwieweit diese Voraussetzung berechtigt war.

---

[1] Unters. über thier. Elektr., Bd. II, 2. Abth., p. 164, vergl. auch Moleschott's Unters., VII, p. 4 u. Arch. f. Anat. und Phys. 1867, p. 305.

[2] Diese Beiträge, IV. Wiener akadem. Sitzungsber. 1879, III. Abth., December-Heft.

Die Resultate sind fast ausschliesslich durch Untersuchungen an dem M. sartorius, als dem regelmässigsten der uns zu Gebote stehenden Muskeln des Frosches gewonnen worden, und nur zur Ergänzung und Prüfung derselben fand auch der Gastrocnemius zuweilen Verwendung. Ich halte es aus Gründen, deren Erörterung später folgen soll, für sehr wesentlich, Versuche über das elektromotorische Verhalten des genannten, zwar dünnen, aber darum keineswegs, wie vielfach angegeben wird, sehr vergänglichen Oberschenkelmuskels, nur an Präparaten anzustellen, welche Fröschen entnommen wurden, die vorher mit einer starken Dosis Curare vergiftet worden sind, und ich habe daher auch fast ausschliesslich mit solchen experimentirt. Ausserdem fand ich es auch in vielen Fällen zweckmässig, die Muskeln vorher zu entbluten, da ich mich überzeugt zu haben glaube, dass der (an verschiedenen Stellen vielleicht wechselnde) Blutgehalt die Gleichartigkeit derselben in elektromotorischer Beziehung unter Umständen merklich zu beeinträchtigen vermag. Ich habe desshalb oft die Frösche vorher von der Aorta aus mit $^3/_4$percentiger NaCl-Lösung ausgespritzt, deren Unschädlichkeit für die Muskelsubstanz durch die übereinstimmenden Angaben vieler Forscher, von deren Richtigkeit ich mich selbst vielfach zu überzeugen Gelegenheit hatte, hinreichend sichergestellt ist. Im Wesentlichen dasselbe leistet auch Ausspritzung mit Zuckerwasser.

Roeber[1] hat allerdings nachgewiesen, dass entgegen den früheren Angaben Ranke's[2] die elektromotorische Kraft entbluteter Muskeln merklich geringer ist, als die bluthaltiger; doch kam dies bei einem grossen Theile meiner Versuche nicht so sehr in Betracht dem Vortheil gegenüber, den die meist grössere Gleichartigkeit der Salz- oder Zuckermuskeln gewährt. Übrigens sah Du Bois-Reymond[3] mit Zuckerwasser ausgespritzte Muskeln ebenso stark, ja unter Umständen sogar stärker elektromotorisch wirken, wie bluthaltige.

---

[1] Arch. f. Anatom. u. Physiol. 1870.

[2] Tetanus, p. 421.

[3] De fibrae muscularis reactione etc. p. 42, und Monatsb. der Berliner Akademie 1859, p. 324.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

I.

Über das elektromotorische Verhalten des unversehrten Sartorius.

Bevor ich zur Mittheilung meiner Versuche über locale chemische Veränderungen der contractilen Substanz und deren Einfluss auf das elektromotorische Verhalten des Muskels schreite, soll vorerst nur mit wenigen Worten das elektromotorische Verhalten des unversehrten M. sartorius besprochen werden, bezüglich dessen zahlreiche Angaben von Du Bois-Reymond[1] vorliegen, auf die ich unten noch zurückkomme.

Es erscheint gegenwärtig durch die Arbeiten Hermann's sichergestellt, dass wirklich unversehrte Muskeln stets stromlos sind, und ich möchte besonders darauf aufmerksam machen, dass, wie mir scheint, gerade der Sartorius bei richtiger Behandlung und vorsichtiger Präparation ein sehr geeignetes Object darbietet, um sich von der Richtigkeit der Hermann'schen Lehre zu überzeugen, obschon Hermann[2] selbst seinerzeit die Behauptung aufgestellt hat, dass es unvermeidlicher Verletzungen wegen nicht möglich sei, irgend einen der Oberschenkelmuskel des Frosches in stromlosem Zustande zu erhalten, und obschon auch Du Bois-Reymond in der Mehrzahl der Fälle am Sartorius Ströme von wechselnder Stärke und verschiedener Richtung gefunden hat. Es ist jedoch andererseits zu bemerken, dass schon Du Bois-Reymond oft genug den Sartorius stromlos fand, wenn er auch diese Beobachtung in einem anderen Sinne als Hermann aufzufassen geneigt ist und eine besonders ausgeprägte „Parelektronomie", die sich bisweilen sogar bis zur Ausbildung einer parelektronomischen Strecke zu steigern vermag,[3] als die Ursache der Stromlosigkeit betrachtet.

Bei Berücksichtigung dieser Umstände dürfte es, wie ich glaube, nicht unzweckmässig sein, wenn ich an dieser Stelle die von mir stets mit bestem Erfolge geübte Präparationsmethode des

---

[1] Unters. über thier. E., II, p. 497; Arch. f. Anat. u. Physiol. 1863, p. 663 ff.

Pflüger's Arch. XV. pag. 227.

[3] Arch. f. Anatom. u. Physiol. 1863, p. 685, u. 1867, p. 264 u. 472.

Sartorius schildere. Dass es hier vor allem auf die peinlichste Sorgfalt, besonders vor Erreichung genügender Uebung, ankommt, bedarf wohl kaum besonderer Erwähnung. Im Übrigen verfuhr ich in folgender Weise: Nachdem der Frosch decapitirt ist und die Eingeweide entfernt sind, wird die Haut des Oberschenkels nahe dem äusseren Rande durchtrennt und medianwärts umgeschlagen; die blossgelegten Muskeln werden sofort durch einen Strom $^3/_4$percentiger NaCl-Lösung abgespült und es ist auch darauf zu achten, sämmtliche bei der Präparation benützten Instrumente beständig mit derselben Lösung benetzt zu erhalten. Nachdem man hierauf den Gastrocnemius nebst den übrigen Muskeln des Unterschenkels entfernt hat, wird das Kniegelenk mit einer spitzigen Scheere durchtrennt und das schmale untere Sehnenende des Sartorius im Zusammenhange mit der oberen Hälfte der Tibia frei präparirt; der Muskel wird sodann bis zum Beckenende hinauf abgelöst, was bei einiger Übung rasch und ohne jede Verletzung gelingt und hierauf nach Oben umgeschlagen; um zu verhüten, dass er mit irgend einem anderen verletzten Muskel in Berührung kommt, bettet man ihn auf eine mehrfache Lage mit NaCl-Lösung getränkten Fliesspapieres; es werden dann sämmtliche am Beckenknochen sich inserirende Muskeln mit Ausnahme des Sartorius selbst vorsichtig und möglichst nahe am Knochen losgetrennt, der Oberschenkelknochen im Hüftgelenke exarticulirt und nun die Symphyse mit einem scharfen Messer durchgeschnitten, wobei man ganz besonders darauf zu achten hat, dass das Beckenende des Muskels nicht gezerrt oder gar angeschnitten werde, was leicht geschieht. Man kann die Symphysentrennung auch gleich im Beginne der Präparation vornehmen, bevor noch die Haut des Oberschenkels vollständig entfernt ist. Man hat jetzt nur noch die Knochen von den anhängenden Muskelstümpfen möglichst zu säubern, was an der Tibia durch Abschaben mit dem Messer leicht gelingt, an dem Beckenknochen jedoch wegen der unregelmässigen Oberfläche des Gelenkendes schwieriger ist; doch gelangt man auch hier zum Ziele, wenn man mittelst eines erhitzten Drahtes alle Muskelreste vorsichtig zerstört. Das ganze Präparat wird schliesslich nochmals mit $^3/_4$percentiger NaCl-Lösung abgespült und ist nunmehr zur Untersuchung vorbereitet, nachdem man vorher noch die Oberfläche des Muskels

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

von der anhaftenden Flüssigkeitsschicht durch Absaugen mit Fliesspapier befreit hat.

Um nun rasch und bequem das elektromotorische Verhalten bei Ableitung von beliebigen Punkten des natürlichen Längsschnittes und dem einen oder anderen Sehnenende des Muskels untersuchen zu können, klemmte ich gewöhnlich den Beckenknochen zwischen die mit Kautschuk gefütterten Branchen eines Muskelhalters und näherte den an dem unteren Sartoriusende hängenden Knochenstumpf der Tibia einem mit 1percentiger NaCl-Lösung gefüllten Schälchen, bis das Knochenende den Flüssigkeitsspiegel eben berührte [1]; während nun die Thonspitze der einen Elektrode in die Salzlösung tauchte, konnte die andere beliebigen Punkten der Muskeloberfläche angelegt werden; die von mir zur Ableitung benützten unpolarisirbaren Thonstiefelelektroden waren fast absolut gleichartig, der zu denselben verwendete Thon durch mehrmaliges Schlämmen mit destillirtem Wasser gereinigt und mit 0·6percentiger NaCl-Lösung angeknetet worden; die in die Elektrodenröhren tauchenden amalgamirten Zinkstäbe wurden nach Hermann's [2] Vorschrift zur Hälfte gefirnisst. Als stromprüfendes Werkzeug diente mir ein Meyerstein'sches Spiegelgalvanometer.

Meine ersten Beobachtungen über Stromlosigkeit des curarisirten M. sartorius im unversehrten Zustande bezogen sich nur auf Ableitung vom unteren Sehnenende und einem etwa in der Mitte gelegenen Punkte des Längsschnittes. Nach Du Bois-Reymond's Ansicht [3] berechtigt jedoch der Nachweis der Stromlosigkeit bei dieser Art der Ableitung an und für sich noch keineswegs zu dem Schlusse, dass das betreffende Muskelende wirklich neutral gegen den Längsschnitt sich verhält, ja es würde dieser Schluss unter Umständen sogar dann noch zweifelhaft bleiben, wenn man einen schwachen verkehrten Strom beobachtet hätte, da nach Du Bois-Reymond der Zustand des anderen nicht abgeleiteten Muskelendes das elektromotorische Verhalten

---

[1] Derselben Ableitungsweise bediente sich auch Du Bois-Reymond. Arch. f. Anatom. u. Physiol. 1873, p. 526.

[2] Pflüger's Archiv, III, p. 24, Anm.

[3] Arch. f. Anatom. u. Physiol. 1871, p. 592.

des ganzen Muskels bestimmen soll, indem, falls dasselbe merklich negativ ist, seiner Ansicht zufolge jeder ihm näher gelegene Punkt des Längsschnittes negativ gegen jeden davon entfernteren sich verhält; die Spannungsdifferenz müsste um so grösser sein, je weiter die Fusspunkte des ableitenden Bogens voneinander entfernt sind. Wenn ich also bei Ableitung vom unteren Sehnenende des Sartorius einerseits und einem Punkte des geometrischen Muskeläquators andererseits keinen Strom beobachtete, so konnte dieses Resultat nach Du Bois-Reymond's Ansicht auch wohl dadurch bedingt sein, dass eben Punkte von gleicher (schwacher) Negativität berührt wurden, wobei vorausgesetzt wird, dass das Beckenende des Sartorius in dem betreffenden Falle stärker negativ war, als das Knieende und dass sich der Einfluss des ersteren bis herab zum Äquator erstreckte. Diese Voraussetzung erscheint aber von vorneherein wenig wahrscheinlich, wenn man berücksichtigt, dass meinen Erfahrungen zufolge die Negativität des oberen Sartoriusendes, wenn sie überhaupt vorhanden, doch in den allermeisten Fällen nur wenig ausgesprochen ist.

Übrigens konnte sich Du Bois-Reymond selbst nicht mit Sicherheit von dem Vorhandensein eines so weit herabreichenden Einflusses des negativen Beckenendes überzeugen, auch wenn dieses durch Anätzung mit künstlichem Querschnitt versehen wurde, wie aus dem folgenden Versuche hervorgeht: Von der Voraussetzung ausgehend, dass unter geeigneten Umständen der „untere natürliche Strom" (Ableitung vom unteren Sehnenende und Muskelmitte) abnehmen müsste, wenn der „obere natürliche Strom" durch Anätzen des betreffenden Muskelendes künstlich gesteigert wird, legte nämlich Du Bois-Reymond[1] die eine Thonspitze dem einen sehnigen Ende *A*, die andere einem Punkte des Längsschnittes eines Gracilis oder Semimembranosus an und ätzte sodann das Ende *B* mit Kreosot oder Milchsäure. „Es zeigte sich aber eine Wirkung im Sinne des Stromes dieses Querschnittes nur dann, wenn die Längsschnittsspitze nahe dem Querschnitte sich befand; der Erfolg war undeutlich, wenn die Spitze am Äquator lag." Ich glaube daher, dass meine oben aufgestellte

[1] Arch. f. Anatom. u. Physiol. 1871, p. 593.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Behauptung, der zufolge der „untere natürliche Strom“ des Sartorius niemals vorhanden ist, wenn der Muskel bei der Präparation wirklich unversehrt blieb, gegen mögliche Einwände hinreichend geschützt ist, denn es würde mit Berücksichtigung der eben gemachten Auseinandersetzungen, selbst eine regelmässig vorhandene Negativität des Beckenendes, auch wenn sie stärker wäre, als ich es selbst in den ungünstigsten Fällen (vor Anlegung eines künstlichen Querschnittes) beobachtet habe, zu einer anderen Deutung des erwähnten Befundes nicht nöthigen.

Ich habe es übrigens vorsichtshalber nicht unterlassen, in jedem speciellen Falle darauf hin zu untersuchen, ob nicht etwa doch ein derartiger Einfluss des oberen Muskelendes (falls sich dasselbe merklich negativ verhielt) auf tiefer gelegene Punkte des Längsschnittes vorhanden war, wie ihn Du Bois-Reymond voraussetzt. Es hätte dann zunächst, wie dieser Forscher auseinandersetzt, ein gesetzmässiger Strom auftreten müssen bei Annäherung der Längsschnittspitze an das abgeleitete untere Sehnenende des Muskels. Du Bois-Reymond gibt allerdings an, ein solches Verhalten gerade am untern Ende des Sartorius mehrmals beobachtet zu haben; mir wollte es nicht gelingen, etwas ähnliches zu sehen; es hätte ferner müssen ein im Muskel ↓ Strom nachzuweisen sein, wenn die Längsschnittsspitze dem Beckenende genähert wurde. Auch davon war in vielen Fällen keine Spur wahrzunehmen; doch kamen hier in der That Ausnahmen vor, indem nicht selten ein schwacher ↓ Strom nachzuweisen war, wenn die Längsschnittspitze sehr nahe an das obere Sehnenende heranrückte. Es steht dies in Übereinstimmung mit dem bereits erwähnten Umstande, dass in vielen Fällen Verletzungen, besonders der oberflächlich gelegenen Fasern, bei der Präparation des betreffenden Muskelendes nicht ganz vermieden werden können, und dieses daher schwach negativ sowohl gegen die unverletzte Oberfläche, wie auch gegen das untere Ende sich verhält. Das aus der Durchsicht der von Du Bois-Reymond mitgetheilten Versuchstabellen[1] sich ergebende Resultat, dass in der bei weitem grössten Zahl der Fälle zwischen den beiden Sehnenenden des Sartorius ein ↓ Strom nachweisbar war, dürfte möglicher-

[1] Arch. f. Anatom. u. Physiol. 1863.

weise dem gleichen Umstande zuzuschreiben sein. Im Übrigen verlieren die in Rede stehenden, immerhin als Ausnahmen zu betrachtenden Fälle jede Bedeutung, wenn sie der grossen Zahl jener gegenüber gestellt werden, in denen beide Sehnenenden des Sartorius gegen beliebige Punkte des natürlichen Längsschnittes sich neutral verhalten.

Du Bois-Reymond[1] machte später die Beobachtung, dass das untere Sartoriusende „häufig", „ziemlich häufig" auch das obere positiv gegen den Längsschnitt sich verhält; in seltenen Fällen wurden sogar beide Muskelenden positiv gegen die Mitte gefunden. Ich habe bei meinen allerdings nicht so zahlreichen Versuchen nicht Gelegenheit gehabt, diese Beobachtungen zu bestätigen, vorausgesetzt, dass die Curarevergiftung der benützten Frösche eine vollständige war; dagegen fand ich in einigen wenigen Fällen bei unzureichender Vergiftung (die betreffenden Frösche zeigten bei starken Reizen noch Spuren von Reflexbewegungen) beide Sehnenenden stark positiv gegen die Mitte des Längsschnittes, glaube jedoch mit Sicherheit behaupten zu dürfen, dass es sich hier nicht um eine besonders ausgesprochene Parelektronomie der beiden Muskelenden im Sinne Du Bois-Reymond's handelte, sondern dass die Erscheinung ihren Grund lediglich in einer auf die Mitte des Muskels beschränkten Dauercontraction hatte; denn es ist bekannt, und ich werde später noch einen Versuch zu erwähnen haben, der es jeden Augenblick zu demonstriren gestattet, dass jede in dauernder Verkürzung begriffene Faserstelle sich negativ verhält gegen eine angrenzende in Ruhe befindliche. Bei genauer Betrachtung der betreffenden Muskelpräparate im durchfallenden Lichte, zeigte sich nun entsprechend der Stelle der Negativität sehr deutlich eine quere Bänderung, indem hellere und dunklere Segmente (3—5) miteinander abwechselten; die letzteren entsprachen, wie sich mit Hilfe des Mikroskops leicht feststellen liess, contrahirten Stellen der Muskelfasern; die Querstreifen waren daselbst ausserordentlich nahe aneinander gerückt, wie man dies bekanntlich auch an fixirten Contractionswellen isolirter Fasern (insbesondere von Insecten) zu sehen Gelegenheit hat, wenn man dieselben, so

[1] Arch. f. Anatom. u. Physiol. 1871, p. 592, u. 1873, p. 541.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

lange sie noch zuckungsfähig sind, der Einwirkung eines rasch tödtenden Härtungsmittels (Alkohol, Überosmiumsäure) unterwirft. Zur Bildung einer merklichen Verdickung war es in keinem der hier erwähnten Fälle gekommen, und das Vorhandensein der so zu sagen mikroskopischen „idiomusculären Wülste" konnte überhaupt nur bei Betrachtung in durchfallendem Lichte erkannt werden. Welche besonderen Bedingungen erfüllt sein müssen, wenn es zur Entstehung derartiger ganz circumscripter Fasercontractionen kommen soll, ist vorläufig wegen der relativen Seltenheit der Erscheinung nicht mit Sicherheit zu sagen. Indessen darf vielleicht der Umstand, dass in den wenigen Fällen, wo ich dieselbe beobachtet habe, die Muskeln nur sehr schwach mit Curare vergiftet waren, für die Ansicht geltend gemacht werden, dass die intramusculären Nerven irgendwie dabei betheiligt waren; geringfügige mechanische Insulte, Zerrungen und Dehnungen der Fasern bei der Präparation dürften wohl in den meisten Fällen die unmittelbare Veranlassung dazu abgeben. Dass solche Dauercontractionen zumeist in der Continuität der Fasern und nur in den seltensten Fällen an den Enden derselben localisirt sind[1], hat vielleicht seinen Grund in Verschiedenheiten der Erregbarkeit an verschiedenen Stellen des Muskels, wie solche ja von Kühne[2] nachgewiesen wurden.

Aus den vorstehend mitgetheilten Beobachtungen geht mit aller Bestimmtheit hervor, dass auch in der Continuität eines vollkommen unverletzten parallelfaserigen Muskels negative Zonen vorkommen können, die ihrerseits bedingt sind durch partielle Dauercontractionen einzelner, in gleicher Höhe gelegener, mehr oder minder ausgedehnter Faserabschnitte; diese können unter Umständen zu ziemlich kräftigen Strömen zwischen verschiedenen Punkten des unversehrten Muskels Anlass geben.

Es scheint, dass auch Du Bois-Reymond schon Ähnliches beobachtet hat; ich glaube dies wenigstens aus einer Bemerkung schliessen zu dürfen[3], der zufolge „der Länge des Muskels (Cuta-

[1] Vergl. diese Beiträge IV. Wiener akadem. Sitzungsber. 1879, pag. 38. Arch. f. Anatom. u. Physiol. 1867, p. 265.

[3] Arch. f. Anatom. u. Physiol. 1867, p. 265.

neus und Sartorius) nach sichtlich Stellen von grösserer und geringerer Negativität des Querschnittes" vorkommen.

Ein Muskel, dessen Mitte sich aus der angegebenen Ursache negativ gegen beide Enden verhält, würde unter Umständen auch zu der Meinung Veranlassung geben können, es bestehe an den Faserenden eine paralelektronomische Schicht von messbarer Ausdehnung, da es denkbar erscheint, dass in einem solchen Falle oberflächliches Anätzen des natürlichen Querschnittes oder gar die Anlegung eines künstlichen Querschnittes in der Nähe eines Sehnenendes den gesetzmässigen Strom nicht sofort hervortreten liesse, wenn der abgeleitete Längsschnittspunkt sich in gleichem Grade oder gar stärker negativ verhält, als der künstliche Querschnitt des betreffenden Muskelendes; an dem unteren Sartoriusende kommt hiefür noch in Betracht, dass, wie bereits Hermann[1] hervorgehoben hat, ein daselbst angelegter Querschnitt weniger Fasern trifft, als ein nach der Mitte des Muskels hin gelegener, und dem entsprechend schwach positiv gegen einen solchen sich verhält.

II.

Über das elektromotorische Verhalten eines partiell mit sehr verdünnten Lösungen von Kalisalzen oder Säuren behandelten Sartorius.

A.

Seit durch Du Bois-Reymond festgestellt worden war, dass der natürliche Querschnitt eines jeden Muskels unter allen Umständen weniger negativ ist, als das durch einen künstlichen Querschnitt blosgelegte Muskelinnere, sowie dass die Negativität des ersteren in sehr vielen Fällen gar nicht nachweisbar ist, bediente man sich verschiedener Mittel, um an solchen „parelektronomischen" Muskeln den gesetzmässigen Strom in voller Stärke zu „entwickeln", wobei immer der leitende Gedanke war, es handle sich im Wesentlichen um die Zerstörung einer an den Faserenden mehr oder minder ausgebildeten (parelektronomischen) Schicht, deren Beschaffenheit als

[1] Unters. zur Physiol. der Nerven und Muskeln, III, p. 55, Anm.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

von der des übrigen Faserinhaltes verschieden gedacht wurde. Unter diesen Mitteln spielte das Anätzen des Sehnenendes durch chemische Stoffe der verschiedensten Art, welche die contractile Substanz, soweit sie mit derselben in Berührung kommen, zu zerstören vermögen, eine hervorragende Rolle. Du Bois-Reymond hat selbst eine sehr grosse Zahl chemischer Substanzen von den verschiedensten Eigenschaften, Leiter sowohl wie Nichtleiter, bezüglich ihrer Fähigkeit, den Muskelstrom zu entwickeln, geprüft und kommt zu dem Resultate, dass die „gemeinsame Eigenschaft, auf der die entwickelnde Fähigkeit beruht, darin zu suchen sei, dass sie alle mehr oder weniger fähig sind, die organische Substanz anzugreifen".[1]

Bisher war es aber aus naheliegenden Gründen nicht gelungen, den einmal entwickelten Strom eines ausgeschnittenen, nicht mehr vom Blut durchströmten Muskels, wieder zu beseitigen, denselben so zu sagen künstlich parelektronomisch zu machen. Eine Möglichkeit hierzu schien allerdings gegeben als Du Bois-Reymond die natürliche Parelektronomie des Muskels auf Veränderungen der Faserenden zurückzuführen versuchte, bedingt durch das Verschwinden der daselbst „anbrandenden" Erregungswellen; allein es gelang nicht, den künstlichen Querschnitt durch Erregung unwirksam zu machen, weil — wie Du Bois-Reymond meint — die bei dem Tetanisiren des Muskels am künstlichen Querschnitt sich bildende „parelektronomische Schicht" stets sofort wieder von der daselbst vorhandenen Säure zerstört wird.[2]

Hermann's Theorie zufolge verhält sich bekanntlich absterbender Faserinhalt im unmittelbaren Contact mit solchem von normaler Beschaffenheit negativ elektrisch; da nun nach allen bisherigen Erfahrungen der an irgend einer Faserstelle einmal eingeleitete Absterbeprocess in dem vom Organismus losgetrennten Muskel unaufhaltsam weiter kriecht, bis endlich der gesammte Inhalt des Sarkolems der Erstarrung und damit dem Tode verfallen ist, so war eine Abnahme des einmal in voller Stärke hervorgerufenen Demarcationsstromes bis auf Null nicht zu erwarten,

---

[1] Untersuchungen, Bd. II, p. 43 u. 63.
[2] Arch. f. Anatom. Physiol. 1876, p. 150.

bevor nicht sämmtliche Fasern ihrer ganzen Länge nach erstarrt waren.

„Die Todtenstarre ist, wie Du Bois-Reymond sich ausdrückt, die natürliche Grenze des Muskelstromes nach dem Tode."

Bis zur Erreichung dieser Grenze ist der gewöhnliche Längs-Querschnittstrom eines regelmässig gebauten Muskels zwar in beständiger langsamer Abnahme begriffen, doch stimmen alle Versuche hinsichtlich der ausserordentlichen Beständigkeit des einmal entwickelten Demarcationsstromes monomerer Muskeln überein. Nach neueren Beobachtungen von Engelmann[1] über diesen Gegenstand sank z. B. die Kraft des M. sartorius vom Frosche:

binnen 1 Stunde im Mittel aus 45 Versuchen auf 86 1 Percent,
24 Stunden 47 43·6
48 „ „ 15 „ „ 30·8

Wenn es nun aber möglich wäre, dem Fortschreiten des Absterbeprocesses zu irgend einer Zeit ein Ziel zu setzen, so würde todter und lebendiger Faserinhalt unvermittelt aneinander grenzen und dem entsprechend müsste von diesem Zeitmomente an der Demarcationsstrom auf Null herabsinken, da, wie Hermann[2] selbst hervorhebt, wirklich abgestorbene Muskelsubstanz sich in elektromotorischer Beziehung „wahrscheinlich ebenso indifferent verhält, wie Sarkolemm, Bindegewebe etc."

Eine der das Absterben hemmenden Bedingungen ist nun ohne Zweifel die Erhaltung, beziehungsweise Wiederherstellung der Blutcirculation, und es war demnach zu erwarten, dass bei möglichster Erhaltung der normalen Ernährungsverhältnisse eines mit künstlichem Querschnitt versehenen Muskels die Negativität desselben rascher abnehmen müsste als dies sonst der Fall ist. Dieser Anforderung genügte Engelmann durch die subcutane Durchschneidung des M. sartorius vom Frosche und beobachtete dann in der That, im Verlaufe einiger (1—8) Tage, vollständige Wiederherstellung des normalen stromlosen Zustandes.

Es gibt nun aber noch eine Möglichkeit, an einem stromlosen Muskel elektromotorische Erscheinungen hervorzurufen und

---

[1] Pflüger's Archiv XV, p. 121.

[2] Handbuch der Physiol. I, 1. Abth., p. 236, Anm.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

wieder zu beseitigen, wobei ich natürlich absehe von den mit dem Erregungsvorgange untrennbar verknüpften elektromotorischen Wirkungen. Wenn es nämlich richtig ist, dass die an Muskeln und Nerven, sowie auch an anderen thierischen und pflanzlichen Gebilden unter Umständen nachweisbaren elektrischen Spannungsdifferenzen im Wesentlichen immer darauf zurückgeführt werden können, dass einander benachbarte Theile der lebendigen Substanzen sich in ihrem Chemismus verschieden verhalten, so muss von vornherein die Möglichkeit zugegeben werden, die daraus resultirenden elektromotorischen Wirkungen wieder zu vernichten, sofern es noch nicht zu einer, die Wiederherstellung der normalen Beschaffenheit des chemisch veränderten Substanzantheils völlig ausschliessenden Zerstörung desselben gekommen ist. Es ist bekannt, dass auch der ausgeschnittene Muskel bis zu einem gewissen Grade die Fähigkeit besitzt, chemische, durch gewisse Eingriffe (Reize) bewirkte Veränderungen seiner Substanz wieder auszugleichen, worauf ja bekanntlich die Erholung eines „ermüdeten" Muskels beruht. Ranke[1] hat ausserdem den interessanten Nachweis geliefert, dass man auch unabhängig von einer vorhergehenden Erregung einen Muskel in einen der Ermüdung ähnlichen Zustand zu versetzen vermag, indem man ihn der Einwirkung gewisser chemischer Substanzen („Ermüdungsstoffe") aussetzt, durch deren Entfernung vermittelst Auslaugen durch eine indifferente Flüssigkeit es gelingt, die normale Erregbarkeit wieder herzustellen.

Es kam also wesentlich darauf an, zu untersuchen, inwieweit aus dem Nebeneinandersein chemisch veränderten, **jedoch noch restitutionsfähigen** Faserinhaltes einerseits und Faserinhaltes von normaler chemischer Beschaffenheit anderseits elektromotorische Wirkungen resultiren.

Die in meiner letzten Mittheilung[2] enthaltenen Angaben über locale chemische Muskelermüdung oder, wie man vielleicht sich richtiger ausdrücken würde, der Ermüdung analoge Alteration der Muskelsubstanz, schienen nun in der That ein einfaches

[1] Tetanus.

[2] Diese Beiträge IV.

Mittel darzubieten, die eben angeregte Frage an der Hand des Experiments zu entscheiden. Es war selbstverständlich nicht daran zu denken, an einem Muskel durch örtlich beschränkte mechanische oder elektrische Reizung locale Ermüdungserscheinungen hervorzurufen, da jedes derartige Bestreben durch die unter normalen Verhältnissen stets eintretende Fortleitung der Erregung vereitelt wird, und es wäre höchstens noch die Polarisirung durch den Kettenstrom in's Auge zu fassen gewesen [1], allein es liegen die Verhältnisse hier doch nicht so einfach, dass man die gefundenen Resultate für die in Betracht kommende Frage hätte so ohne weiters verwerthen können. Es bleiben demnach eigentlich nur die erwähnten von J. Ranke gefundenen Thatsachen betreffs der „chemischen Muskelermüdung" zu berücksichtigen.

Schon die ersten Versuche, die ich anstellte, um zu sehen, ob ein in einem wässerigen Auszuge von Muskelfleisch getauchtes Sartoriusende zur Zeit, wo dessen Erregbarkeit in Folge der Einwirkung dieses Saftes früheren Erfahrungen zufolge bereits beträchtlich vermindert ist, sich dem entsprechend negativ gegen den normal gebliebenen Rest der Muskeloberfläche verhält, bestätigten vollkommen die in dieser Beziehung gehegten Erwartungen.

Die Ableitung zum Galvanometer erfolgte in bekannter Weise vom unteren Ende und einem etwa der Mitte des natürlichen Längsschnittes entsprechenden Punkte der Muskeloberfläche; ein merklicher Strom war hierbei, wie gewöhnlich an curarisirten sorgfältig präparirten Sartorien, vorher nicht nachzuweisen. Nachdem jedoch das betreffende Muskelende während etwa sechs Minuten in einer Ausdehnung von circa 3 Mm. mit dem Fleischwasser in Berührung gestanden hatte, wobei anfangs schwache Erregungserscheinungen zu beobachten waren [2], erhielt ich bei der gleichen Ableitung, wie vorher, eine sehr starke dem Gesetze des Muskelstromes entsprechende Ablenkung am Gal-

---

[1] Diese Beiträge IV., pag. 36, f.

[2] Diese fehlten fast ausnahmslos, wenn Salzmuskel zu dem Versuche verwendet wurden. Es scheint überhaupt, dass die Erscheinungen der chemischen Reizung an derartigen Muskelpräparaten nur unter besonders günstigen Bedingungen hervortreten.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

vanometer, indem in dem angelegten Bogen ein Strom vom Längsschnitt zum natürlichen Querschnitt floss. Die Grösse der Ablenkung war in vielen Fällen nur um weniges geringer, als wenn an einem mit künstlichem Querschnitt versehenen Sartorius der ableitende Bogen die Schnittfläche mit einem entsprechenden Längsschnittspunkte verbindet.

Die bei meinen elektrischen Reizversuchen vielfach gemachte Erfahrung, dass die durch Fleischwasser bewirkte locale Herabsetzung der Erregbarkeit sich durch Auslaugen des betreffenden Muskelendes mit $^3/_4$ percentiger NaCl-Lösung wieder vollständig beseitigen lässt, berechtigte zu der Hoffnung, dass es durch dasselbe Verfahren auch gelingen dürfte, den Muskelstrom, wo nicht zu beseitigen, so doch wesentlich zu schwächen, sofern es wirklich richtig ist, dass Erregbarkeitsherabsetzung und Negativität einer Faserstelle miteinander Hand in Hand gehen. Die Stärke des Stromes liess mich jedoch befürchten, es möchte schon zu Anätzung der Faserenden, d. i. zu wirklichem Absterben wenigstens eines Theiles derselben gekommen sein, unter welchen Umständen dann natürlich aus schon erörterten Gründen eine Wiederherstellung des ursprünglichen stromlosen Zustandes nicht mehr zu erwarten stand. Das Resultat des Versuches übertraf jedoch meine Erwartungen, denn nachdem der Muskel 10 Minuten durch Eintauchen in $^3/_4$ percentige NaCl-Lösung ausgelaugt worden war, wobei derselbe anfangs in fortwährender Unruhe (wahrscheinlich wegen Nebenschliessung seines Stromes durch die umgebende Salzlösung) sich befand, war bei abermaliger Prüfung am Galvanometer der Strom bis auf Spuren verschwunden; durch längeres Auswaschen liessen sich auch diese beseitigen, und der Muskel war nun wie zu Beginn des Versuches vollkommen stromlos und von normaler Erregbarkeit. Man kann an einem und demselben Muskel in dieser Weise beliebig oft hintereinander einen Strom hervorrufen und wieder beseitigen, so dass es keinem Zweifel unterliegt, dass durch den wässerigen Auszug von Muskelfleisch der Faserinhalt des quergestreiften Muskels am Orte der Einwirkung nicht nur minder erregbar, sondern zugleich auch in hohem Grade negativ gegen normalen Faserinhalt gemacht wird, und dass beide Veränderungen wieder voll-

ständig beseitigt werden können, wenn man die schädlichen Stoffe durch Auswaschen entfernt.

In meiner letzten Mittheilung[1] habe ich den Nachweis geliefert, dass die localen durch Fleischwasser bewirkten Ermüdungserscheinungen am Muskel den in demselben reichlich enthaltenen Kaliumverbindungen und insbesondere dem sauren phosphorsauren Kali zuzuschreiben sind, und es war daher von vornherein die Vermuthung nicht unwahrscheinlich, dass dieselben auch die Ursache der Negativität der mit Fleischwasser behandelten Faserstellen sein dürften.

Um diese Frage zu entscheiden, stellte ich zunächst eine grosse Anzahl von Versuchen mit verschieden stark verdünnten Lösungen neutraler, sowie auch saurer und alkalischer Kalisalze an. Es ist nach dem bereits Mitgetheilten selbstverständlich, dass im Allgemeinen nur hochgradig verdünnte Lösungen verwendet werden durften, da es ja auf das sorgfältigste zu vermeiden war, die Faserenden wirklich abzutödten. Ein Gehalt von 1 Grm. Salz auf 100 Cc. Wasser war stets die äusserste Grenze, bis zu welcher ich ging.

Ehe ich zur Mittheilung der erhaltenen Resultate schreite, möchte ich schon an dieser Stelle vorgreifend den ausgedehnten Gebrauch der 0·5—0·6 percentigen NaCl-Lösung zum Auswaschen der Muskeln rechtfertigen, da Hermann[2] seinerzeit die absolute Unschädlichkeit dieser Salzlösung in Zweifel gezogen hat. Wenn man jedoch die an die Spitze der vorliegenden Abhandlung gestellte Äusserung Du Bois-Reymond's berücksichtigt und andererseits die leicht zu bestätigende Beobachtung macht, dass stundenlange Einwirkung 0·6 Percent Kochsalzlösung auf das eine oder andere Sartoriusende, dasselbe nicht merklich negativ zu machen vermag, so dürfte es kaum noch anderer Beweise bedürfen, dass für den hier vorliegenden Zweck die verdünnte Kochsalzlösung als indifferent gelten kann.

Was nun die Wirkung der von mir geprüften Kalisalzlösung anbelangt (KNO_3 in 1 Percent, KH_2PO_4 in 1 Percent, K_2CO_3 in

---

[1] Diese Beiträge IV

[2] Untersuchungen zur Physiol. der Nerven und Muskeln, III. Heft, p. 42, Anm.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

0·6 Percent, KCl in 0·6 Percent, KJ in 0·5 Percent Lösung), so fand ich dieselbe durchaus analog derjenigen des wässerigen Auszuges von Muskelfleisch, indem jede damit behandelte Faserstelle sich kräftig negativ gegen normale Stellen verhielt; auch liessen sich die „Kaliströme" ebenso leicht durch Auswaschen wieder beseitigen.

Dieses übereinstimmende Resultat beider bisher mitgetheilten Versuchsreihen macht es, wie ich glaube, im höchsten Grade wahrscheinlich, dass die mächtige Stromentwicklung auch in beiden Fällen durch die gleiche Ursache bedingt sei, und dass demnach das Fleischwasser nicht nur seine Fähigkeit, die Erregbarkeit der Muskelsubstanz herabzusetzen, sondern auch seine stromentwickelnden Eigenschaften dem Gehalte an Kalisalzen verdankt. Die Gründe, welche dagegen sprechen, dass die Fleischmilchsäure hierbei betheiligt ist, werde ich später ausführlicher erörtern. Hier mag es genügen, darauf hinzuweisen, dass Neutralisation des sauer reagirenden Fleischwassers mittels Na_2CO_3 dessen stromentwickelnde Eigenschaften nicht wesentlich zu beeinträchtigen vermag, womit zugleich bewiesen ist, dass diese auch unabhängig sind von dem Vorhandensein saurer Salze. Dass das Kreatin, welches von Ranke[1] anfangs (wie sich später herausstellte[2] irrthümlich) zu den Ermüdungsstoffen gezählt wurde, sich vollständig indifferent verhält, mag hier beiläufig bemerkt sein.

Ich hatte bei allen bisher erwähnten Versuchen fast ausschliesslich das untere, schmale Sartoriusende benützt und zwar lediglich aus dem Grunde, weil es sich am leichtesten völlig unverletzt präpariren lässt. Man kann jedoch jede beliebige Stelle an der Oberfläche eines regelmässig gebauten Muskels durch Behandlung mit Kalisalzlösungen negativ machen und daher auch zwischen zwei Punkten des natürlichen Längsschnittes beliebig gerichtete Ströme hervorrufen, wenn man nur darauf achtet, die Einwirkung der Lösung gehörig zu localisiren. So ist es z. B. ein Leichtes, gerade nur eine der Mitte des Sar-

[1] Tetanus.
Centralblatt f. medic. Wissensch. 1865, p. 578.

torius entsprechende Zone vorübergehend negativ gegen beide Sehnenenden zu machen, indem man einige Minuten lang einen schmalen, aus doppelt zusammengelegtem Fliesspapier geschnittenen und mit irgend einer der oben genannten Kalisalzlösungen (am besten 1 percentiger KNO_3 oder KH_2PO_4) getränkten Streifen ringförmig um den Äquator des horizontal ausgespannten Muskels herumlegt. Was schliesslich die Zeit anbelangt, welche erforderlich ist, um bei localer Behandlung mit Kalisalzen überhaupt merkliche Demarcationsströme zu entwickeln, so ist dieselbe auffallend kurz; es hängt dies natürlich wesentlich mit von dem Salzgehalte der angewendeten Lösungen ab, doch fand ich in allen Fällen minutenlanges Eintauchen des unteren Sartoriusendes in Lösungen von der oben bezeichneten Concentration genügend, um einen merklichen, vom Längsschnitt zum Sehnenende fliessenden Strom nachweisen zu können. Mit der Dauer der Einwirkung der schädlichen Substanz nimmt selbstverständlich die Stromstärke bis zu einer gewissen Grenze zu, da die Lösung eben allmälig von der Oberfläche nach der Tiefe des Muskels hineindiffundirt, wobei immer neue Fasern in das Bereich derselben gelangen und nun ihrerseits zur Verstärkung des abgeleiteten Stromzweiges beitragen. Dem entsprechend wächst dann auch die Schwierigkeit, durch Auswaschen den stromlosen Zustand wieder herbeizuführen. Es war zu erwarten, und der Versuch bestätigte diese Voraussetzung, dass die Raschheit und Stärke der Stromentwicklung durch Kalisalzlösungen besonders deutlich hervortreten müsse, wenn man den Achillesspiegel des Froschgastrocnemius der Einwirkung derselben aussetzt, da sich hier bekanntlich eine sehr grosse Zahl von Fasern schräg ansetzt und daher gleichzeitig und in gleichem Grade von der einwirkenden Schädlichkeit betroffen wird. Falls bereits ein ↑ Strom zwischen Haupt- und Achillessehne des Gastrocnemius vorhanden ist, kann es sich natürlich nur um eine Verstärkung desselben handeln; doch gelingt es mit Berücksichtigung der von Hermann[1] gegebenen Vorschriften betreffs der Präparation dieses Muskels jederzeit leicht, sich Gastrocnemien im stromlosen Zustande zu verschaffen und es ist dann in der That überraschend, zu sehen, wie das nur

[1] Pflüger's Arch. III, p. 36.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

wenige Secunden dauernde Bepinseln des Achillesspiegels mit einer der oben erwähnten schwachen Kalisalzlösungen ausreicht, um einen ausserordentlich kräftigen im Muskel ↑ Strom durch den ableitenden Bogen zu senden, wenn dieser die Achillessehne mit der Rückenfläche des Muskelkopfes verbindet. Die Ableitung erfolgte in der Art, dass der Oberschenkelknochen zwischen die Branchen eines Muskelhalters geklemmt wurde, während der Gastrocnemius vertical frei herabhing; die Achillessehne tauchte in ein Schälchen mit Kochsalzlösung, in welche zugleich die eine Thonspitze eingetaucht wurde, die andere Elektrode berührte ableitend beliebige Punkte der Muskeloberfläche.

Ich muss mit besonderem Nachdruck hervorheben, dass es sich hier sowohl, wie auch in dem Falle, wo das eine oder andere Sartoriusende durch Eintauchen in Fleischwasser oder entsprechend verdünnte Lösungen von Kalisalzen negativ gegen Punkte des Längsschnittes gemacht wurde, nicht etwa um Spannungsdifferenzen handelt, zu deren Nachweis es einer besonderen Empfindlichkeit des Galvanometers bedürfte, sondern die zu beobachtenden Ströme sind im Allgemeinen von derselben Ordnung, wie der gewöhnliche Demarcationsstrom zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt, der, wie wir gegenwärtig, Dank den Bemühungen Hermann's, wissen, die einzige mit Sicherheit nachweisbare elektromotorische Wirkung des ruhenden Muskels darstellt. Gerade dieser Umstand aber ist es nun, der die Thatsache um so bedeutungsvoller erscheinen lässt, dass es so leicht gelingt, die „Kaliströme" durch Auswaschen mit einer indifferenten Flüssigkeit vollständig zu beseitigen, was sich in besonders auffallender Weise wieder am Gastrocnemius zeigen lässt, indem es genügt, denselben, nachdem die Muskelsubstanz am Achillesspiegel durch kurzes Bepinseln mit einer verdünnten Kalisalzlösung stark negativ geworden ist, während einiger (3—5) Minuten mit $^3/_4$percentiger NaCl-Lösung abzuspülen, um bei abermaliger Prüfung mittelst des Galvanometers den ursprünglichen stromlosen Zustand vollständig wieder hergestellt zu sehen. Es beweist dies, dass der nachtheilige Einfluss der Lösung sich nur auf die äussersten Enden der sich schräg inserirenden Fasern erstreckt haben konnte. Beim Sartorius liegen die Verhältnisse insoferne ungünstiger, als

bei sehr kurz dauerndem Eintauchen des einen oder anderen Sehnenendes nur eine verhältnissmässig geringe Zahl von Fasern mit der Salzlösung in Berührung kommt.

Es ist, wie ich schon oben erwähnt habe, leicht, die eben beschriebenen durch das chemisch differente Verhalten aneinander grenzender Partien des Faserinhaltes bewirkten „Demarcationsströme" beliebig oft hintereinander hervorzurufen und wieder zum Verschwinden zu bringen, und man kann sich von dieser Thatsache auch leicht vermittelst des „physiologischen Rheoscopes" überzeugen. Man bedient sich dann zweckmässig einer ähnlichen Versuchsanordnung, wie sie von Du Bois-Reymond angegeben wurde, um einen Muskel durch den Strom des zugehörigen Nerven zu erregen.[1] Dicke Bäusche aus mehrfach zusammengelegtem Fliesspapier werden, um sie möglichst gut leitend zu machen, mit concentrirter NaCl-Lösung getränkt und drei von ihnen an jenen Stellen, wo sie mit den thierischen Gebilden in Berührung kommen sollen, mit Schildchen aus Kochsalzthon bekleidet; der eine längere Bausch trägt deren zwei, die beiden anderen nur je eines. Man legt die Bäusche auf eine trockene Glasplatte, so dass sie durch Zwischenräume von entsprechender Breite voneinander getrennt sind, und brückt den Nerven des stromprüfenden Froschschenkels über das eine Paar der einander gegenüberliegenden Thonschildchen, während der Gastrocnemius zuerst in stromlosem Zustande, wovon man sich vorher am Galvanometer überzeugt hat, auf den beiden anderen Thonschildern in bekannter Weise aufliegt; wird nun der Kreis geschlossen, indem man die zwischen den zwei kürzeren Bäuschen befindliche Lücke durch Auffallenlassen eines vierten Hilfsbausches überbrückt, so erhält man keine Zuckung des Schenkels; dagegen ist dies regelmässig der Fall, wenn der Achillesspiegel zuvor mit der entsprechend verdünnten Lösung eines Kalisalzes bepinselt wurde; wird nun der Muskel mit Kochsalzlösung abgespült, und abermals in der vorher wirksamen Anordnung aufgelegt, so bleibt die Erregung des Nerven bei Schliessung des Stromkreises wieder aus. Man kann den Versuch in dieser Weise mehrmals mit immer gleichem Erfolge wiederholen.

---

[1] Fortschr. d. Physik, IV Jahrg., 1852, p. 314.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Es wurde bisher die Frage ganz ausser Acht gelassen, ob die locale Behandlung mit verdünnten Kalisalzlösungen nicht etwa auch am abgestorbenen, erstarrten Muskel zur Entstehung elektrischer Spannungsdifferenzen Anlass gibt, so dass die beobachteten Ströme aus dem Kreise physiologischer Betrachtung wären auszuschliessen gewesen. An wirklich todtenstarren Muskeln gelingt dies nun allerdings niemals; ich werde jedoch später noch eine Reihe von Thatsachen zu erwähnen haben, welche zeigen, dass die „Kalisträme" wie überhaupt Demarcationsströme unter Bedingungen beobachtet werden, wo man bisher geneigt war, anzunehmen, der Muskel sei bereits vollständig abgestorben und erstarrt oder diesem Zustande doch wenigstens sehr nahe.

Ich habe im Vorstehenden die „Kalisträme" als gleichwerthig betrachtet mit „Demarcationsströmen" und es erübrigt mir noch, einen möglichen Einwand gegen diese Auffassung zu beseitigen.

Es wäre nämlich denkbar, dass man es mit „Actionsströmen" zu thun hätte, indem die beobachteten elektromotorischen Wirkungen ihre Entstehung einem localen Erregungszustande des Muskels verdankten, da bekanntlich Hermann's Theorie zufolge angenommen wird, dass auch erregter Faserinhalt ruhendem gegenüber sich vorübergehend negativ verhält. Es würde hiermit in Einklang stehen, dass mit Beseitigung der Erregungsursache auch die Ströme verschwinden; auch spricht auf den ersten Blick der Umstand dafür, dass in der That sowohl das Fleischwasser wie auch reine Kalisalzlösungen selbst in hohen Verdünnungsgraden erregend auf die Substanz quergestreifter Muskeln wirken.

Gleichwohl lässt sich, wie ich glaube, mit aller Schärfe der Beweis führen, dass die beobachteten Ströme im Wesentlichen unabhängig sind von einem partiellen Erregungszustande des Muskels, obschon nicht geläugnet werden soll, dass die bei dem Eintauchen des Sartoriusendes in Kalisalzlösungen fast immer zu beobachtenden Erregungserscheinungen zur Entstehung von Actionsströmen Anlass geben können; doch dürfte diese Erregung meist nicht stetig genug sein, um sich am Galvanometer zu verrathen. Wenn man einen curarisirten Sartorius etwa 15 bis 20 Minuten unter eine mit Ätherdämpfen angefüllte Glasglocke bringt, so kann man sich leicht überzeugen, dass unmittelbar

nachdem der Muskel aus der Ätheratmosphäre entfernt wurde, es unmöglich ist, denselben künstlich zu erregen, sei es nun, dass man einen elektrischen Strom hindurchschickt oder irgend ein stark wirkendes chemisches Reizmittel, z. B. concentrirte Kochsalzlösung, einwirken lässt. Dieser Zustand der Unerregbarkeit ist jedoch nur vorübergehend, und schliesslich kehrt in allen Fällen die normale Erregbarkeit des Muskels, dessen Aussehen keinerlei Veränderungen zeigt, wieder zurück.

Dass es gelingt, Muskeln dadurch unerregbar zu machen, dass man sie einige Zeit der Einwirkung von Chloroform- oder Ätherdämpfen aussetzt, hat bereits H. Ranke[1] gezeigt; es scheint ihm jedoch entgangen zu sein, dass ätherisirte Muskeln ihre Erregbarkeit nach einiger Zeit wieder erlangen, falls die Einwirkung nicht allzulange dauerte.

Dieses Verhalten gestattet nun, wie ohne weiters ersichtlich ist, die Entscheidung der oben angeregten Frage. Denn war nur die locale durch Kalisalze bewirkte Erregung der Muskelsubstanz die Ursache der beobachteten Ströme, so mussten dieselben ausbleiben, wenn ein durch Äther unerregbar gemachter Sartorius derselben Behandlung unterworfen wurde; dies war nun aber niemals der Fall, und es liess sich nicht einmal ein gradweiser Unterschied constatiren. Aus H. Ranke's Versuchen geht überdies auch hervor, dass Muskeln, welche durch Ätheinwirkung oder auch durch Chloroformdämpfe vollständig unerregbar geworden sind, gleichwohl in diesem Zustande keine merkliche Schwächung der elektromotorischen Kraft erkennen lassen, die erst bei Eintritt der Starre Null wird.

Endlich kommt für die angeregte Frage auch noch der Umstand in Betracht, dass es, wie unten noch ausführlicher zu besprechen sein wird, Substanzen gibt, welche in entsprechend verdünnten Lösungen den Muskel ebenso stark zu erregen vermögen, wie Kalisalze, ohne jedoch, wie diese, stromentwickelnd zu wirken.

Ich habe früher gezeigt[2], dass Froschmuskeln hinsichtlich ihrer Erregbarkeit durch verdünnten Alkohol (1:3—4 Th.

---

[1] Centralblatt f. med. Wiss., 1867, p. 209 ff.

[2] Diese Beiträge, IV.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Wasser) in ähnlicher Weise beeinflusst werden, wie durch Kalisalze, und es steht hiemit die Beobachtung im Einklange, dass auch das elektromotorische Verhalten in beiden Fällen übereinstimmt, indem man ein mit hochgradig verdünntem Alkohol behandeltes Sartoriusende stets negativ gegen alle anderen Punkte der Muskeloberfläche findet; diese Negativität kann zum Schwinden gebracht werden, wenn es gelingt, die normalen Erregbarkeitsverhältnisse durch längeres Auslaugen des Muskels mit $^3/_4$percentiger NaCl-Lösung wieder herzustellen.

Anhangsweise sei hier noch der Stromentwicklung durch Hühnereiweiss gedacht, welches, wie Du Bois-Reymond zuerst gefunden hat[1], dem natürlichen Querschnitte eines Muskels gegenüber sich keineswegs so indifferent verhält, als man vielleicht gerade von dieser Substanz hätte von vornherein erwarten können. Es genügt, das untere Sartoriusende einige Minuten in Eiweiss zu tauchen, um dasselbe hierauf stark negativ gegen beliebige Punkte der übrigen Muskeloberfläche zu finden; das gleiche Resultat erhält man, wenn man, wie es in Du Bois-Reymond's Versuchen der Fall war, den „parelektronomischen" Achillesspiegel des Gastrocnemius mit einem Eiweisshäutchen überkleidet. Du Bois-Reymond ist geneigt, die Stromentwicklung durch Hühnereiweiss auf die wasserentziehende Eigenschaft dieser Substanz zu beziehen[2], wodurch die Faserenden des Muskels zum Absterben gebracht und das negative Muskelinnere blosgelegt werden sollte; allein dieser Deutung widerspricht vor Allem der Befund, dass eine 2percentige NaCl-Lösung, welche so stark Wasser entzieht, dass ein eingetauchter Muskel alsbald merklich schrumpft, trotzdem erst nach sehr langer Dauer der Einwirkung und auch dann nur sehr schwach stromentwickelnd wirkt, worauf ich unten noch zurückkomme[3]. Man wird demnach noch andere Möglichkeiten zu erwägen haben, um die genannte Wirkung des Eiweisses auf die Muskelsubstanz zu erklären. Ich glaube nun den Gehalt desselben an Kalisalzen als die Ursache der Strom-

---

[1] Untersuch. über thier. E. II, 2. Abth., p. 53.

[2] l. c., p. 63.

[3] Betreffs der wasserentziehenden Wirkung schwacher NaCl-Lösungen vergl. auch E. Heubel, Pflüger's Arch. XX, p. 151 ff.

entwicklung bezeichnen zu dürfen. Es würde hiermit auch übereinstimmen, dass die durch Eiweiss entwickelten Ströme sich ebenso wie die „Kalieströme“ durch Auswaschen beseitigen lassen.

B.

Nach den bisher mitgetheilten Erfahrungen über die so hervorragende stromentwickelnde Fähigkeit vieler Kalisalze, war es von grossem Interesse zu untersuchen, ob nicht Versuche mit hochgradig verdünnten Säurelösungen zu analogen Resultaten führen würden.

Du Bois-Reymond hat gefunden,[1] dass jedem künstlichen Muskelquerschnitte, zumal wenn derselbe einige Zeit vorher angelegt worden ist, stromentwickelnde Eigenschaften zukommen. Diese Beobachtung führte Du Bois-Reymond zu der Entdeckung der postmortalen Säuerung der Muskelsubstanz, und es schien hiernach kaum zweifelhaft zu sein, dass die im Verlaufe des Absterbens der Schnittfläche daselbst sich bildende freie Säure die entwickelnde Fähigkeit des künstlichen Querschnittes bedingt[2], zumal es bekannt ist, dass sämmtliche Säuren einen äusserst verderblichen Einfluss auf die Lebenseigenschaften der Muskelsubstanz ausüben.

Ich habe den erwähnten Versuch Du Bois-Reymond's wiederholt, indem ich das schmale untere Ende eines vorher auf seine vollkommene Stromlosigkeit geprüften Sartorius derartig zwischen 2 aus der Contuinität eines Gastrocnemius geschnittene Querscheiben bettete, dass dasselbe etwa in einer Ausdehnung von 3 Mm. mit den Schnittflächen in Berührung stand. Die Stromentwicklung war schon nach kurzer Zeit (2 bis 5 Minuten) sehr bedeutend und es entsprach die beobachtete Spiegelablenkung bisweilen nahezu der, welche man durch den gewöhnlichen Längs-Querschnittstrom erzielt, besonders wenn die Muskelscheibchen vor der Benützung mehrere Stunden im feuchten Raume aufbewahrt worden waren, oder wenn ich das Sartoriusende mit

---

[1] Unters. II., p. 48 u. Moleschott's Unters. VII., p. 5.

[2] Vergl. Ranke, Tetanus, p. 429 Du Bois-Reymond im Arch. f. Anatom. u. Physiol., 1876, p. 149.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

einem durch Zerquetschen von starrem Muskelfleisch erhaltenen, deutlich sauer reagirenden Brei umhüllt hatte.

Es ist jedoch, wie ich gefunden habe, keineswegs eine nur der Substanz des quergestreiften Muskels (vom Frosche ebensowohl wie von beliebigen anderen Thieren) zukommende Eigenschaft, im Zustande der Zersetzung durch Berührung mit normalem Faserinhalt, diesen letzteren negativ elektrisch zu machen, sondern es scheint dies vielmehr eine weit verbreitete Eigenthümlichkeit sich zersetzender thierischer Gewebsbestandtheile zu sein, indem es mir in ganz gleicher Weise gelungen ist, einen durch längeres Auswaschen mit NaCl-Lösung wieder zu beseitigenden Demarcationsstrom zu entwickeln, wenn das eine oder andere Sartoriusende oder der Achillesspiegel des Gastrocnemius mit Gehirnsubstanz, Niere, Speicheldrüse oder Leber von einem Tags zuvor getödteten Kaninchen sich einige Zeit in Berührung befunden hatte. Ich will bemerken, dass ich frisches geschlagenes Kaninchenblut sowie auch Serum vom Frosch und Kaninchen nicht merklich entwickelnd fand.

Die Annahme, dass die allmälich zunehmende Säuerung des Muskelquerschnittes für sich allein die stromentwickelnde Eigenschaft desselben bedingt, wird durch den Umstand widerlegt, dass man einen älteren stark sauer reagirenden Querschnitt durch Na_2CO_3 (0·5percentige Lösung) neutralisiren oder sogar stark alkalisch machen kann, ohne dessen Fähigkeit, einen unversehrten Muskel an der Berührungsstelle negativ zu machen, wesentlich zu beeinträchtigen. Der Einwand, dass dann das Na_2CO_3 die Rolle der Fleischmilchsäure übernommen habe, wird durch später mitzutheilende Versuche hinfällig. Wenn man sich nun die Frage vorlegt, welche Stoffe ausser der freien Milchsäure allenfalls bei der erwähnten Wirkung des Muskelquerschnittes in Betracht kommen könnten, so bleibt, so viel ich sehe, kaum ein anderer Ausweg, als auch hier die Kalisalze und insbesondere das bei der postmortalen Säuerung der contractilen Substanz nothwendig sich bildende[1] KH_2PO_4 zur Erklärung herbeizuziehen. Auch die durch Berührung eines

[1] Vergl. Ranke, Centralbl. f. med. Wiss. 1865, p. 578.

stromlosen Muskels mit in Zersetzung begriffenem Faserinhalte entwickelten Ströme lassen sich durch Auslaugen mit 0·5 bis 0·6percentiger NaCl-Lösung leicht beseitigen.

Diese Thatsache ist von um so grösserem Interesse, weil, wie ich gleich zeigen werde, die durch örtliche Einwirkung möglichst verdünnter Säurelösungen an einem unversehrten vorher stromlosen Muskel hervorgerufenen Ströme in dieser Beziehung ein wesentlich verschiedenes Verhalten zeigen.

Ich kann mich bei Darlegung dieser Verhältnisse um so kürzer fassen, als bereits alles Nöthige über die Methode der Untersuchung mitgetheilt wurde, und da im Übrigen das von einer Säure Gesagte in fast gleicher Weise auch von allen anderen gilt, soweit ich dieselben in das Bereich meiner Untersuchungen gezogen habe. Die durch vollständige Zerstörung der Faserenden am natürlichen Querschnitte eines Muskels vermittelst concentrirter Säuren entwickelten Demarcationsströme liegen natürlich ganz ebenso ausserhalb des Bereiches der hier mitzutheilenden Untersuchungen, wie jene, welche durch gesättigte Lösungen ätzender Alkalien oder beliebiger Salze entwickelt wurden, und ich werde dieselben daher nicht weiter berücksichtigen. Es war dagegen denkbar, dass es gelingen würde, die contractile Substanz durch locale Einwirkung ganz geringer Säuremengen gerade nur insoweit chemisch zu verändern, dass sich dieselbe normalem Faserinhalte gegenüber negativ elektrisch verhielte, dessenungeachtet aber einer Restitution durch Beseitigung (Neutralisirung) der schädlichen Säure fähig wäre, wodurch also auch hier eine Wiederherstellung des ursprünglichen stromlosen („parelektronomischen") Zustandes ermöglicht sein würde.

Die in dieser Hinsicht angestellten zahlreichen Versuche haben jedoch im Allgemeinen diese Voraussetzung nicht bestätigt, indem sich herausstellte, dass es nicht möglich ist, die durch örtlich beschränkte Einwirkung hochgradig verdünnter Säuren erzeugten Demarcationsströme durch Auswaschen oder Neutralisiren in so kurzer Zeit wieder zu beseitigen, als dies für die durch Kalisalze erzeugten Ströme gilt. Wenn man das untere Sartoriusende in bekannter Weise (etwa

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

5 Minuten lang) in destillirtes Wasser taucht, nachdem man demselben tropfenweise soviel Milchsäure zugesetzt hat, dass die Lösung blaues Lackmuspapier intensiv röthet (etwa 2 bis 3 Tropfen der syrupösen Säure auf 60 CC. Wasser), so fällt zunächst auf, dass der Stromzweig, welchen man dann zum Galvanometer abzuleiten vermag, wenn die Thonspitzen einerseits das Knochenende der Tibia und anderseits den geometrischen Äquator des unten gesäuerten Muskels berühren, meist bedeutend schwächer ist, als unter sonst gleichen Verhältnissen nach einseitiger Behandlung mit einer verdünnten Kalisalzlösung. Zu einem analogen Ergebnisse führt die Wiederholung des Versuches am Gastrocnemius, indem man den Achillesspiegel mit der Milchsäurelösung bestreicht oder besser Fliesspapierscheibchen von entsprechender Grösse (etwa 8 Mm. lang und 5 Mm. breit) damit tränkt und auflegt. Während, wie oben gezeigt, verdünnte Kalisalzlösungen unter denselben Versuchsbedingungen regelmässig schon nach kürzester Zeit einen starken im Muskel ↑ Strom entwickeln, ist dies bei Anwendung von Milchsäure in starker Verdünnung auch nach minutenlanger Einwirkung nicht in ähnlichem Grade der Fall, obschon unter Umständen die Oberfläche des Sehnenspiegels, soweit er mit der Säure in Berührung stand, deutlich gequollen erscheint und sich sozusagen reliefartig von der Umgebung abhebt.

Wenn man einen Sartorius, dessen unteres Ende durch Eintauchen in schwache Milchsäurelösung eben merklich negativ geworden war, in $^3/_4$ percentiger NaCl-Lösung taucht, und nach einigen (5—10) Minuten die den Längsschnitt berührende Elektrode an demselben Punkte wie vorher aufsetzt, so beobachtet man in allen Fällen nicht nur keine Schwächung, sondern vielmehr eine merkliche Verstärkung des Stromes, was wohl darauf zurückzuführen sein dürfte, dass nachträglich noch andere, vorher intact gebliebene Faserenden der von der Oberfläche nach der Tiefe hin fortschreitenden Säurewirkung unterliegen.

Dieselbe Erscheinung beobachtet man auch, wenn der gesäuerte Muskel frei an der Luft hängt.

Es ist bemerkenswerth, dass man durch sehr lange anhaltendes Auslaugen eines an einem Ende mit stark verdünnter Milchsäure negativ gemachten Sartorius durch Eintauchen des Muskels in $^3/_4$ percentiger NaCl-Lösung, welche durch Zusatz von

Na_2CO_3 schwach alkalisch gemacht wurde, doch im Stande ist, den Demarcationsstrom merklich zu schwächen und ich habe Fälle beobachtet, wo unter solchen Umständen nach etwa einer Stunde die Grösse der Ablenkung nahezu um die Hälfte des ursprünglichen Werthes abgenommen hatte; bisweilen gelingt schliesslich sogar die fast vollständige Beseitigung eines derartigen „Säurestromes", doch ist hiezu mindestens 4—5stündiges Auslaugen des Muskels erforderlich. Man hat es dann, wie ich glaube, mit einer wirklichen Restitution der gesäuerten Faserenden zu thun und ich möchte zu Gunsten dieser Ansicht besonders den Umstand geltend machen, dass eine abermalige gleich lange und in derselben Ausdehnung wie vorher, auf dieselben Faserstellen sich beschränkende Säurebehandlung eines derartigen, künstlich „parelektronomisch" gemachten Muskels, einen fast ebenso starken Strom zur Folge hat, wie vor der ersten Säuerung. Dieser Umstand beweist zugleich, dass die beobachtete Stromabnahme nicht etwa darauf zurückzuführen war, dass der ganze Muskel sich zu jener Zeit bereits in einem dem Absterben nahen Zustande befunden habe. Gegen eine solche Annahme würde übrigens auch schon der Umstand sprechen, dass unversehrte Muskeln bei niederer Temperatur tagelang in $^3/_4$percentiger NaCl-Lösung (auch wenn diese schwach alkalisch gemacht wurde) ihre Erregbarkeit und insbesondere ihre elektromotorischen Eigenschaften bewahren.

Aus den vorstehend mitgetheilten Untersuchungen ergibt sich demnach, dass die Eigenschaft verdünnter Kalisalzlösungen, die Muskelsubstanz an der Berührungsstelle negativ zu machen, in einem wenn auch meist geringeren Grade auch höchst verdünnten Säurelösungen[1] zukommt. Dass die „Säureströme" bei Weitem beständiger sind, als die „Kalieströme", wäre unter der Voraussetzung leicht erklärbar, dass die Säuren zu tiefer greifenden und demnach auch schwerer wieder auszugleichenden chemischen Veränderungen des Faserinhaltes Anlass geben als die Kalisalze.

---

[1] Wie bereits bemerkt wurde, gilt alles von der Milchsäure Gesagte ebenso auch von den meisten anderen organischen und anorganischen Säuren (HCl, HNO_3, H_2SO_4, CH_2O_2) und nur gradweise Unterschiede machen sich bemerklich. Ich verdünnte die genannten Säuren so lange mit destillirtem Wasser, bis die Lösung blaues Lackmuspapier eben noch deutlich röthete.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

III.

Über das elektromotorische Verhalten eines an einem Ende mit Lösungen von Natronsalzen oder Veratrin behandelten Sartorius.

In meiner letzten Mittheilung über den Einfluss chemischer Veränderungen der Muskelsubstanz auf die polare Erregung durch den elektrischen Strom, habe ich vielfach Gelegenheit gehabt, auf den ausserordentlich grossen Unterschied in der Wirkung der sich in chemischer Beziehung so nahe stehenden Kali- und Natronsalze auf die Erregbarkeit der Muskelsubstanz hinzuweisen und es sind auch in der vorliegenden Abhandlung bereits mehrere Thatsachen mitgetheilt worden, welche ersichtlich machen, dass auch mit Rücksicht auf die Entwicklung elektrischer Spannungsdifferenzen am quergestreiften Muskel ein ähnlicher Unterschied in der Wirkungsweise der beiden genannten Gruppen von Alkalisalzen besteht. Ich erinnere in dieser Beziehung nur an die vollständige Indifferenz 0·5 bis 0·7percentiger NaCl- oder 0·5percentiger Na_2CO_3-Lösungen im Vergleiche zu der ausserordentlich kräftigen Stromentwicklung durch locale Einwirkung gleich starker Lösungen der entsprechenden Kaliumverbindungen.

Nachdem ich mich, wie schon oben erwähnt wurde, mit aller Sicherheit davon überzeugt hatte, dass 0·5 bis 0·7percentige Kochsalzlösung bei stundenlang andauernder Einwirkung auf den natürlichen Querschnitt eines unversehrten, stromlosen Muskels niemals zu einer auch nur spurweisen Entwicklung eines Demarcationsstromes Veranlassung gibt, so kam es mir zunächst darauf an, zu untersuchen, bis zu welchem Grade man den Salzgehalt der Lösung steigern darf, bevor es zu einer merklichen Alteration der Faserenden kommt, die sich ihrerseits durch das Hervortreten eines Demarcationsstromes hätte verrathen müssen. Es liegen bisher keine diese Frage direct berührenden Untersuchungen vor. O. Nasse[1] hat als Massstab für die Schädlichkeit oder Unschädlichkeit einer Salzlösung von bestimmter Concentration die Zeitdauer angenommen, während welcher ein in dieselbe getauchter Muskel seine Erregbarkeit bewahrt, und es hat sich auch durch

[1] Pflüger's Arch. II, p. 114 ff.

diese Untersuchungen herausgestellt, dass eine 0·6percentige NaCl-Lösung als die für den Froschmuskel im Allgemeinen günstigste Lösung betrachtet werden darf, indem alle unter und über diesem Grenzwerthe gelegenen Werthe des Salzgehaltes die Erregbarkeit eines damit behandelten Muskels früher beeinträchtigen. Als nahezu gleich günstig erwiesen sich ferner auch 1percentige Lösungen von $NaNO_3$ und 1·4percentige von Na_2SO_4.[1] Nasse vergleicht ferner Lösungen anderer (Kali- und Ammoniak-) Salze mit Kochsalzlösungen von verschiedenem Gehalte, um „einen handlichen Massstab für die grössere oder geringere Schädlichkeit einer Salzlösung zu gewinnen". Die so erhaltenen Resultate, die übrigens, wie Nasse selbst bemerkt,[2] nur zum Theil aus Experimenten abgeleitet wurden, stellte Hermann[3] sehr übersichtlich in einer Tabelle zusammen, woraus unter anderem ersichtlich ist, dass als gleichwerthig anzusehen seien eine 0·3 oder 1·25percentige Lösung von NaCl, und eine 0·45percentige Lösung von Na_2CO_3 sowie eine 0·2percentige oder 1·5percentige Lösung von NaCl und eine 0·7percentige von KNO_3 oder KCl.

Diese Annahme erscheint jedoch durchaus nicht zutreffend, wenn man, was ich für richtiger halte, die Schädlichkeit einer verdünnten Salzlösung für die Muskelsubstanz nach der Zeit beurtheilt, innerhalb welcher eine damit behandelte Faserstelle negativ elektrisch wird gegen eine benachbarte von normaler Beschaffenheit; denn dann stellt sich heraus, dass eine 0·7percentige Lösung von KCl oder KNO_3 den Muskel unverhältnissmässig rascher schädigt, als eine Chlornatriumlösung, deren Salzgehalt 0·2 oder 1·5 Percent und darüber beträgt, wie sich unmittelbar aus Versuchen ergibt, die ich mit Rücksicht auf diese Frage angestellt habe. Ich habe mich überzeugt, dass selbst eine NaCl-Lösung, deren Salzgehalt 2 Percent übersteigt, bei weitem nicht so schnell verderblich auf die contractile Substanz des quergestreiften Muskels einwirkt, als eine 0·7percentige Lösung einer der beiden oben genannten Kaliumverbindungen, was in übereinstimmender Weise sowohl aus Versuchen mit elektrischer Durch-

---

[1] Hermann's Handbuch der Physiologie I. 1, p. 263. Pflüger's Arch. II, p. 118.

[3] Handbuch der Physiologie I. 1, pag. 104.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

strömung eines am einen Ende mit den genannten Salzlösungen behandelten curarisirten Sartorius hervorgeht, wie es auch anderseits durch die ausserordentliche Verschiedenheit der stromentwickelnden Wirkungen dieser Substanzen bewiesen wird.

Wenn man das untere Ende eines mit Curare stark vergifteten Sartorius in eine 2percentige NaCl-Lösung etwa 3 bis 4 Mm. tief eintaucht, so beobachtet man selbst nach 10 bis 20 Minuten keine Spur eines Demarcationsstromes zwischen dem betreffenden Sehnenende und einem etwa der Mitte des Längsschnittes entsprechenden Punkte der Muskeloberfläche, obschon meist eine merkliche Trübung des ersteren wahrnehmbar ist. Ja man sieht in vielen Fällen nach 5 bis 10 Minuten dauernder Einwirkung eine entgegengesetzt gerichtete, allerdings nicht bedeutende Spiegelablenkung im Sinne eines im Muskel ↓ gerichteten Stromes. Die Positivität des unteren Sehnenendes nimmt aber bald wieder ab, der Muskel wird abermals stromlos und nach etwa $^1/_2$ bis 1 Stunde kann man in den meisten Fällen einen schwachen ↑ gerichteten Strom nachweisen.

Nun ist es allerdings richtig, dass die Erregbarkeit eines in 2percentiger NaCl-Lösung ganz eingetauchten Sartorius ziemlich bald erlischt, man kann jedoch leicht zeigen, dass selbst nach 1 Stunde der deutlich geschrumpfte Muskel aus dem Scheintode wieder erwacht, wenn man das demselben entzogene Wasser dadurch ersetzt, dass man ihn zunächst in destillirtes Wasser taucht und sobald spontane Erregungserscheinungen sich zeigen, in ein grösseres Gefäss mit 0·5percentiger NaCl-Lösung bringt; nach etwa $^1/_2$ Stunde findet man dann den Muskel wieder erregbar und von normalem Aussehen. Ein analoges Verhalten beobachtete auch Vulpian an Froschherzen, wenn dieselben in 1percentiger NaCl-Lösung zum Stillstand gebracht worden waren; die spontane Pulsation begann wieder bei Eintauchen in destillirtes Wasser; ich habe ein gleiches Resultat mit 2percentiger NaCl-Lösung erhalten; stets begann dann zuerst der Vorhof zu pulsiren und erst nach längerem Liegen in 0·5percentiger NaCl-Lösung fing auch der Ventrikel an zu schlagen. Aus allen diesen Versuchen geht somit übereinstimmend hervor, dass NaCl-Lösungen selbst von ziemlich hohem Salzgehalt die Muskelsubstanz im Allgemeinen nur wenig schädigen, und jedenfalls nicht zu tiefer greifenden

chemischen Veränderungen, die eine Restitution ausschliessen würden, Veranlassung geben.

Was soeben bezüglich der nur wenig deletären Einwirkung verhältnissmässig starker Kochsalzlösungen auf die Muskelsubstanz gesagt wurde, gilt in noch höherem Grade von anderen neutralen Natronsalzen, so z. B. dem Na_2SO_4 und $NaNO_3$; es geht dies auch schon aus der Angabe Nasse's[1] hervor, dass eine 1percentige Lösung des letztgenannten Salzes, sowie eine 1·4percentige von Na_2SO_4 sich dem Froschmuskel gegenüber annähernd ebenso indifferent verhalten, wie eine 0·6percentige NaCl-Lösung.

Besonders eindringlich lehrt dies jedoch wieder jeder Versuch, einen Demarcationsstrom durch Behandlung des einen oder anderen Sartoriusendes mit starken (4 bis 12percentigen) Lösungen von Na_2SO_4 oder $NaNO_3$ zu entwickeln. Die selbst nach länger dauernder Einwirkung zu beobachtenden Ströme sind unverhältnissmässig schwächer, als wenn zu dem Versuche gleichstarke Lösungen von NaCl oder gar die entsprechenden Kalisalze benützt wurden.

Sowohl Na_2SO_4 als insbesondere Na_2CO_3 wirken, wie ich bereits in meiner vorigen Mittheilung erwähnt habe, selbst in stark verdünnter Lösung als kräftige Erregungsmittel des Muskels und steigern ferner auch in hohem Grade die Erregbarkeit der Muskelsubstanz, während die meisten Kalisalze in dieser letzteren Beziehung ein gerade gegentheiliges Verhalten zeigen. Ich habe sehr viel Zeit und Mühe darauf verwendet, zu untersuchen, ob nicht vielleicht ein ähnlicher Gegensatz in der Wirkung der beiden eben genannten Gruppen von Alkalisalzen sich auch in Beziehung auf die durch dieselben hervorgebrachten Veränderungen der elektromotorischen Eigenschaften der Muskelsubstanz erkennen lässt, derart, dass eine mit entsprechend verdünnten Lösungen von Na_2CO_3 oder Na_2SO_4 behandelte Faserstelle sich zur Umgebung positiv verhält; ich bin jedoch zu keinem überzeugenden Resultate gelangt, indem ich zwar sehr oft beobachtete, dass das eingetauchte Sartoriusende sich nach kurzer Zeit (5 bis 10 Minuten) schwach positiv gegen Punkte des natürlichen Längsschnittes verhielt;

---

[1] Hermann's Handbuch d. Physiol. I. 1, p. 263.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

doch waren diese Ströme von viel zu geringer Stärke, als dass es gestattet sein würde, weitere Schlüsse daraus zu ziehen.

Engelmann[1] hat bei seinen Untersuchungen über das elektromotorische Verhalten der unverletzten Oberfläche des Froschherzens, gefunden, dass Kochsalzlösungen, deren Gehalt 0·6 Percent übersteigt, die damit berührte Stelle positiv elektrisch gegenüber anderen Punkten der Herzoberfläche machen; es steht diese Beobachtung, worauf auch Engelmann hinweist, in Übereinstimmung mit älteren Angaben von Du Bois-Reymond, und ich selbst habe, wie bereits erwähnt wurde, fast ausnahmslos das mit 2percentiger NaCl-Lösung behandelte unverletzte Sartoriusende anfangs positiv gegen den natürlichen Längsschnitt werden sehen, allein auch diese Spannungsdifferenzen sind so geringfügig, dass sie wohl kaum für die hier in Betracht kommende Frage verwerthet werden dürfen.

Von der Ansicht ausgehend, dass ein durch Tetanus ermüdeter Muskel sich vielleicht besser eignen dürfte, um durch locale Behandlung mit erregbarkeitserhöhenden Substanzen den Faserinhalt am Orte der Einwirkung positiv zu machen, habe ich den wegen seines complicirten Baues zu diesen Versuchen allerdings nur wenig geeigneten Gastrocnemius vom Nerven aus bis zur Erschöpfung tetanisirt, indem ich, vom centralen Ende ausgehend, immer neue Stellen des Nerven über die Elektroden brückte und die Reizung jedesmal mit den schwächsten Strömen begann. Es wurden sodann der Achillesspiegel der Einwirkung entsprechend verdünnter Lösungen von Na_2CO_3, Na_2SO_4 (0·5—0·7 Percent) oder Veratrin acet. in mit $^3/_4$percentiger NaCl-Lösung zur Hälfte verdünntem Froschblutserum ausgesetzt; doch blieben diese Versuche sowie auch andere, die ich in analoger Weise mit Sartorien angestellt habe, welche mit Strychnin vergifteten Fröschen unmittelbar nach Ablauf der Krämpfe entnommen worden waren, ohne Erfolg, und es lässt sich daher zur Zeit mit Sicherheit nur behaupten, dass jene Substanzen, welche erfahrungsgemäss die Erregbarkeit der contractilen Substanz des Muskels auch bei localer Application beträchtlich erhöhen (Na_2CO_3, Na_2SO_4, Veratrin) in entsprechend

[1] Pflüger's Arch. XV, p. 118.

verdünnten Lösungen nicht merklich stromentwickelnd wirken. Wenn nun auch die eben erwähnten Versuche durchwegs negative Resultate ergeben haben, so hat doch die genauere vergleichende Untersuchung des elektromotorischen Verhaltens eines partiell mit Veratrin vergifteten Sartorius im Zustande der Ruhe und der Erregung einen, wie ich glaube, überzeugenden Beweis von der Richtigkeit der Hermann'schen Lehre geliefert, dass erregter Faserinhalt ruhendem gegenüber sich negativ verhält.

Wenn man das eine oder das andere Sartoriusende mit Veratrin vergiftet (man nehme hiezu eine sehr verdünnte Lösung von V. acet. in $^3/_4$percentiger NaCl-Lösung), so entsteht, wie ich gezeigt habe[1], bei Reizung des Muskels mit einem einzelnen Inductionsschlage oder bei sehr kurz dauernder Schliessung eines Kettenstromes an der vergifteten Stelle eine den Reiz sehr merklich überdauernde Contraction, die sich erst allmälich wieder ausgleicht und, wie Fick und Böhm[2] gezeigt haben, auf einer Nachwirkung des Erregungsprocesses beruht. Wenn es nun richtig ist, dass erregter Faserinhalt ruhendem gegenüber sich negativ verhält, so musste unmittelbar nach jeder Momentanreizung zwischen dem vergifteten Muskelende und einem oberhalb desselben gelegenen Punkte des Längsschnittes ein kräftiger ↑ Strom nachweisbar sein, der sich allmälig mit dem Verschwinden der Dauercontraction verliert und bei erneuter Reizung abermals hervortritt, so lange die Giftwirkung überhaupt andauert.

Ein solcher Muskel müsste, diesen theoretischen Voraussetzungen zufolge, unmittelbar nach jeder Reizung hinsichtlich seines elektromotorischen Verhaltens einem solchen gleichen, dessen Fasern an der betreffenden Stelle sich in dem Zustande der sogenannten „idiomusculären" Contraction befänden, und ein Unterschied würde sich eben nur in der Richtung geltend machen können, dass erfahrungsgemäss im letzteren Falle die Negativität meist erst mit der Erstarrung des Muskels schwindet.

Der Versuch bestätigte auf das Vollkommenste diese Voraussetzungen; die zu beobachtenden „Actionsströme" waren nach

---

[1] Diese Beiträge IV. Wiener akadem. Sitzungsber. 1879. Würzburger Untersuchungen 1873, 2. Lief., p. 142 ff.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Ablauf einer einfachen S-Zuckung sehr kräftig und verschwanden nach einigen Minuten der Ruhe wieder vollständig, vorausgesetzt, dass der Grad der Vergiftung gerade richtig getroffen war, da das Veratrin an sich, wenn es in stark verdünnter Lösung angewendet wird, so dass das erste Stadium der Giftwirkung[1] ziemlich lange anhält, die Muskelsubstanz am Orte der Einwirkung nicht negativ macht. Dies ist allerdings der Fall im Stadium der Erregbarkeitsherabsetzung.

Da eine selbst nur kurz dauernde Schliessung eines Kettenstromes doch viel stärker erregend wirkt, als ein einzelner Inductionsschlag, so fällt dem entsprechend auch der nach Momentanreizung nachweisbare Actionsstrom eines partiell veratrinisirten Sartorius regelmässig bedeutend stärker aus, wenn man den Muskel durch kurze Schliessung eines Kettenstromes erregt, besonders wenn die Kathode an dem vergifteten Ende sich befand.

IV.

Über das elektromotorische Verhalten wasserstarrer Muskeln.

Fast allgemein ist die Meinung herrschend, dass das destillirte Wasser eine die Muskelsubstanz sehr rasch und energisch angreifende Substanz sei; so schliesst z. B. Kühne[2] aus dem Umstande, dass seinen Beobachtungen zufolge ein in destillirtes Wasser getauchter Sartorius vom Frosch früher seine Erregbarkeit einbüsst, als ein zur selben Zeit in Salpetersäure (1 pro mille) getauchter Muskel, dass das destillirte Wasser schneller zerstörend wirke, als die verdünnte Säure, und Du Bois-Reymond gibt an,[3] dass ein Gastrocnemius, eingetaucht in destillirtes Wasser, dessen Temperatur etwa 15° C. beträgt, binnen einer Stunde wirklich todtenstarr und sauer gefunden werde. Folgerichtig hätte man daher auch erwarten sollen, dass, wenn die Stromentwicklung an einem „parelektronomischen" Muskel nur auf Zerstörung einer am natürlichen Querschnitte vorhandenen Schicht von bisweilen messbarer Dicke beruhte, bei Benetzung desselben mit destillirtem

[1] Vergl. diese Beiträge IV, pag. 28.
Arch. f. Anatom. u. Physiol. 1859, p. 221.
[3] Moleschott's Unters. VII, p. 16.

Wasser in kurzer Zeit ein kräftiger nnd gesetzmässiger Strom nachweisbar sein müsste, da ja erfahrungsgemäss sichergestellt ist, dass die entwickelnde Eigenschaft einer Flüssigkeit von deren Leitungsvermögen völlig unabhängig ist. Dem widersprachen jedoch zum Theile schon die ersten diesbezüglichen Versuche Du Bois-Reymond's,[1] indem die Entwicklung des Stromes „par-elektronomischer" Muskeln bei Eintauchen derselben in destillirtes Wasser nur träge und schwach erfolgte.

Bei weitem geeigneter, als der Gastrocnemius des Frosches, an welchem Du Bois-Reymond diese Versuche anstellte, erweist sich hier der M. sartorius. Wenn man das eine oder andere Ende (ich benützte aus schon erwähnten Gründen gewöhnlich das Knieende) eines mit Curare vergifteten Sartorius in destillirtes Wasser taucht, so macht sich schon nach kurzer Zeit eine Volumszunahme desselben bemerkbar; nach etwa 10 Minuten findet man es dann regelmässig schwach positiv gegen Punkte des Längsschnittes, sowie auch gegen das obere Sehnenende, falls dieses bei der Präparation unverletzt blieb.

Die Grösse der durch diesen (verkehrten) Strom bewirkten Spiegelablenkung ist fast immer beträchtlicher als in jenen oben erwähnten, nicht seltenen Fällen, wo nach partieller Behandlung des Muskels mit verdünnten Lösungen von Na_2CO_3 oder Veratrin schon eine Positivität der betreffenden Faserstellen beobachtet wurde. Nach längerer Dauer der Wasserwirkung (20 bis 40 Minuten) erscheint der betreffende Muskelabschnitt stark gequollen und nahezu doppelt so breit als vorher; er sieht weisslichtrübe aus und trägt alle äusseren Zeichen der Starre an sich. In den meisten Fällen beobachtet man im Beginn der Wasserwirkung mehr oder minder deutliche Erregungserscheinungen des Muskels, welche offenbar identisch sind mit den bereits von v. Wittich beschriebenen Muskelzuckungen bei Injection von destillirtem Wasser in das Gefässsystem.

Die eben geschilderte Beschaffenheit des gewässerten Muskelendes liess erwarten, dass die betreffenden Faserabschnitte um diese Zeit bereits völlig abgestorben sind, und ich vermuthete dem ensprechend das Vorhandensein eines gesetzmässigen

---

[1] Untersuchungen II, 2. Abth., p. 60 u. 63.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Demarcationstromes zwischen dem wasserstarren Abschnitte und dem unversehrt gebliebenen Reste des Muskels.

Gleichwohl bestätigte sich diese Voraussetzung nicht, indem der partiell wasserstarre Sartorius elektromotorisch ebenso unwirksam war, wie vorher oder (nach 30 bis 40 Minuten) höchstens schwache Spuren eines gesetzmässigen Stromes erkennen liess. Selbst nach stundenlanger Einwirkung destillirten Wassers sind die nachweisbaren Spannungsdifferenzen der beiden Muskelabschnitte trotz der so ausserordentlich auffälligen Unterschiede ihrer physikalischen Eigenschaften nur verhältnissmässig unbedeutend und nicht zu vergleichen mit jenen, welche dem gewöhnlichen Längs-Querschnittstrome zu Grunde liegen.

Wenn man sich erinnert, dass alle bisher bekannten Mittel, durch welche es gelingt, die contractile Substanz des Muskels in den Zustand der Erstarrung zu versetzen (Erwärmung auf 40° C. Behandlung mit Chloroform oder Säuren etc.), bei örtlicher Einwirkung immer auch zur Entwicklung kräftiger Demarcationsströme Anlass geben, und wenn man ferner berücksichtigt, dass gerade von der Wasserstarre behauptet wird,[1] sie stimme in chemischer Beziehung vollkommen überein mit der spontanen beziehungsweise Wärmestarre, so muss, die Richtigkeit der eben erwähnten Annahme vorausgesetzt, die elektromotorische Unwirksamkeit des partiell wasserstarren Sartorius, als höchst auffällig bezeichnet werden, da sie sich, den herrschenden Anschauungen zufolge, mit einer chemischen Theorie des Muskelstromes in keiner Weise würde vereinen lassen. Eine genauere Untersuchung des elektromotorischen Verhaltens der contractilen Substanz des quergestreiften Muskels in verschiedenen Stadien der Wasserwirkung hat mich jedoch zu der Überzeugung geführt, dass es durchaus unzulässig ist, den Zustand der sogenannten „Wasserstarre" des Muskels zu identificiren mit jener tiefgreifenden chemischen Veränderung der Muskelsubstanz, welche das Wesen der spontanen oder Zeitstarre, sowie auch der Wärmestarre ausmacht.

---

[1] Vergl. Hermann Unters. über d. Stoffwechsel der Muskeln 1867, p. 103; Handbuch d. Physiol. I, 1. Abth., p. 152. — O. Nasse. Hermann's Handb. d. Physiol. I, 1. Abth., p. 304 f.

Es kann zwar nicht geleugnet werden, dass auch der gewässerte Muskel mit der Zeit sauer wird und andererseits zwingt die rasch eintretende Veränderung der physikalischen Eigenschaften der Muskelsubstanz notwendig zu der Annahme einer Gerinnung des Faserinhaltes; allein in letzterer wie auch in ersterer Beziehung lassen sich, wie ich glaube, bemerkenswerthe Unterschiede des gewässerten vom wärmestarren Muskel constatiren. Was zunächst die Säuerung des wasserstarren Muskels anbelangt, so scheint dieselbe mit der fortschreitenden Entwicklung der „Starre" keineswegs gleichen Schritt zu halten, und nur ganz allmälich sich zu entwickeln, wie schon daraus hervorgeht, dass nach Du Bois-Reymond der Querschnitt eines mit destillirtem Wasser ausgespritzten Muskels unter Umständen auch dann noch neutral gefunden wird, wenn derselbe stark aufgequollen, weiss und völlig unerregbar ist.[1] Ich selbst habe mehrfach Gelegenheit gehabt, diese Beobachtung zu bestätigen und glaube mich ausserdem überzeugt zu haben, dass die Temperatur des Wassers (zwischen 0—30° C.) einen wesentlichen Einfluss auf die Säuerung des Wassermuskels hat, indem bei höherer Temperatur die sauere Reaction sich früher und deutlicher nachweisen lässt, als wenn der Muskel in sehr kaltes Wasser getaucht wurde. Möglicherweise ist die nur sehr langsam sich entwickelnde Säuerung bei der Wasserstarre bedingt durch einen nebenher verlaufenden, mit der gewöhnlichen Zeitstarre identischen Absterbeprocess. Hinsichtlich der Gerinnungserscheinungen möchte ich, abgesehen von der grösseren Durchsichtigkeit gewässerter Muskeln, besonders auf den Umstand aufmerksam machen, dass es mir wiederholt gelungen ist, die Erregbarkeit eines Sartorius wenigstens theilweise (bisweilen vollständig) wiederherzustellen, wenn ich den durch einstündiges Eintauchen in destillirtes Wasser starr gemachten Muskel einige Zeit in 2percentige NaCl-Lösung brachte, wobei er den grössten Theil des aufgenommenen Wassers verliert und sein normales Aussehen fast vollständig wieder gewinnt; es empfiehlt sich, den Muskel, sobald die ersten Spuren wiederkehrender Erregbarkeit sich zeigen, was in der Regel nach

[1] Moleschott's Unters. VII, p. 12. Vergl. auch O. Nasse in Hermann's Handb. d. Physiol. I, 1. Abth., p. 805.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

5 bis 10 Minuten der Fall ist, in 0·6percentige NaCl-Lösung zu tauchen, da ein allzulanges Verweilen in der stärkeren Salzlösung die Erregbarkeit ebenfalls schädigt.

Wie ich aus einer Bemerkung Kühne's[1] ersehe, hat schon v. Wittich (dessen Abhandlung mir im Original nicht zugänglich ist) wasserstarre Muskel durch Bestreuen mit Kochsalz wieder erregbar werden sehen; Kühne wiederholte diese Versuche mit negativem Erfolge und schliesst daraus, dass „bei der durch Imbibition mit destillirtem Wasser eingetretenen Starre die Erregbarkeit niemals wiederkehrt". Aus meinen oben erwähnten Versuchen geht jedoch, wie ich glaube, mit aller Sicherheit hervor, dass in der That eine Restitution selbst nach einstündigem Verweilen eines Sartorius in destillirtem Wasser möglich ist; die Bedingungen aber, unter denen dies geschieht, zeigen in unzweideutiger Weise, dass in chemischer Hinsicht ein wesentlicher Unterschied zwischen der Wasser- und Wärmestarre besteht. Denn durch blosse Behandlung mit 2percentiger NaCl-Lösung gelingt bekanntlich niemals eine auch nur spurweise Wiederbelebung eines vollkommen wärmestarren Muskels, wohl aber ist dies, wie Preyer gezeigt hat,[2] der Fall, wenn nach Lösung der Starre durch Eintauchen in 7 bis 10percentige NaCl-Lösung die Blutcirculation in dem betreffenden Muskel wiederhergestellt wird. Das gleiche Verfahren wendete Preyer mit demselben Erfolge auch bei wasserstarren Muskeln an und spricht die Ansicht aus,[3] dass eine Restitution durch Kochsalzlösung allein überhaupt nur im Beginn der Erstarrung möglich sei. Ich glaube nun kaum, dass ein so dünner Muskel wie der Sartorius nach einstündigem Aufenthalte in einer grossen Menge destillirten Wassers als im Anfangsstadium der Wasserstarre befindlich wird bezeichnet werden können, zumal Du Bois-Reymond angibt, dass sogar der Gastrocnemius unter denselben Bedingungen nach einer Stunde „wirklich todtenstarr und sauer" gefunden wird,[4] und da ausserdem zu dieser Zeit der Sartorius alle jene Eigenschaften besitzt (mit Ausnahme der nicht regelmässig nachweisbaren saueren

[1] Arch. f. Anatom. u. Physiol. 1859, p. 798, Anmerkung.
Centralbl. f. medic. Wiss. 1864, p. 769 f.
L. c. p. 773.
[4] Moleschott's Unters. VII, p. 16.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Reaction), welche als charakteristisch für die Starre angesehen werden.

In überzeugendster Weise wird jedoch die Unhaltbarkeit der herrschenden Anschauung von der Identität der Wasserstarre und der Zeit- beziehungsweise Wärmestarre dargethan durch den Umstand, dass Froschmuskeln selbst in einem sehr vorgerückten Stadium der Wasserstarre (nach einer Stunde und später) in demselben Sinne und in fast gleichem Grade elektromotorisch wirksam werden können, wie unversehrte Muskeln.

Man kann sich leicht von der Richtigkeit dieser Behauptung überzeugen. Wenn man das untere Drittel eines vertical aufgehängten Sartorius etwa 30 Minuten lang in destillirtes Wasser taucht, so erweist sich der Muskel bei Ableitung vom geometrischen Äquator und dem wasserstarren Abschnitt in den meisten Fällen stromlos oder er zeigt noch einen schwachen verkehrten Strom; erwärmt man nun einen Theil des gewässerten Muskelabschnittes durch Eintauchen in Wasser, dessen Temperatur 40 bis 60° C. beträgt, so findet man den Muskel bei gleicher Ableitung wie vorher stets elektromotorisch wirksam; das Gleiche ist der Fall, wenn man durch Quetschen mit einer Pincette innerhalb der wasserstarren Strecke einen künstlichen Querschnitt anlegt, oder das betreffende Muskelende kurze Zeit in concentrirte Kochsalzlösung taucht. Man könnte diesen Befund vielleicht durch die allerdings sehr unwahrscheinliche Annahme zu erklären versuchen, dass die im Innern des Muskels gelegenen Fasern von der Einwirkung des Wassers noch nicht ergriffen waren; dieser Einwand wird jedoch durch Versuche widerlegt, welche ich in grosser Zahl mit Muskeln (dem Sartorius sowohl wie auch dem Gastrocnemius) angestellt habe, die Fröschen entnommen wurden, welche von der Aorta aus so lange mit destillirtem Wasser durchspült worden waren, bis deren Muskeln auf directe Reize (Tetanisiren mit Inductionsströmen) nicht mehr reagirten. In allen Fällen zeigten sich bei Wiederholung der oben erwähnten Versuche auch diese Muskeln noch deutlich und in gesetzmässiger Weise elektromotorisch wirksam.

Es ist ferner bemerkenswerth, dass auch locale Behandlung der wasserstarren Muskelsubstanz mit Fleischwasser oder ver-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

dünnten Lösungen von Kalisalzen dieselbe am Orte der Einwirkung negativ zu machen vermag, und daher in gleicher Weise zur Entwicklung von Demarcationsströmen Anlass gibt, wie dies im zweiten Abschnitte der vorliegenden Abhandlung vom normalem Muskel beschrieben wurde. Diese Ströme lassen sich leicht durch Auslaugen mit destillirtem Wasser beseitigen, und oft nacheinander wieder hervorrufen. Wie ich schon oben erwähnt habe, gelingen alle diese Versuche nicht mit wirklich abgestorbenen, todtenstarren Muskeln.

Die vorstehend mitgetheilten Beobachtungen, denen zufolge gewässerte Muskeln so ausserordentlich lange die Fähigkeit bewahren, elektromotorisch wirksam zu werden, lassen es wünschenswerth erscheinen, die chemischen sowie auch die durch diese bedingten physikalischen Veränderungen der Muskelsubstanz in verschiedenen Stadien der Wasserstarre einer abermaligen genauen Untersuchung zu unterwerfen; denn es erscheint durch die bisher erwähnten Thatsachen ausser allen Zweifel gesetzt, dass in chemischer Hinsicht ein durchgreifender Unterschied besteht, zwischen dem durch die Einwirkung destillirten Wassers bewirkten starre ähnlichen Zustande und der wirklichen Todtenstarre eines Muskels.